

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

**Zproduktivnění hromadné výroby složitých součástí
(Reengineering of Complicated Parts Mass Production)**

Vedoucí bakalářské práce:
Student:

Doc. Ing. Vladimír VRBA, CSc.
Vítězslav Gronych

Ostrava 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Vítězslav Gronych**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Zproduktivnění hromadné výroby složitých součástí
Reengineering of Complicated Parts Mass Production

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika problému.
2. Možnosti zproduktivnění výroby daných součástí.
3. Návrh technologie obrábění vybrané součásti.
4. Diskuze experimentů.
5. Technicko ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno : MM Publishing Praha, 2008, 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
VASILKO Karol. *Analytická teória trieskového obrábania*. Prešov : COFIN Prešov, 2007. 338 s. ISBN 978-80-8073-759-7.
BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; SADÍLEK, Marek; PETŘKOVSKÁ, Lenka; NOVÁKOVÁ, Jana. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007 Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.

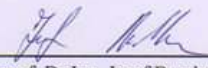
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

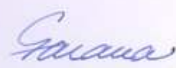
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 18.12.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010




prof. Dr. Ing. Josef Brychta
vedoucí katedry


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Vítězslav Gronych

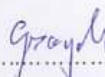
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, bakalářské práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB – TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB -TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21.5.2010



Vítězslav Gronych

Adresa trvalého pobytu diplomanta:

Vítězslav Gronych

Okružní 226

789 91 Štítý


Vítězslav Gronych

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2010


.....
podpis studenta

Anotace bakalářské práce

Gronych, V. Zproduktivnění hromadné výroby složitých součástí. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2010, 50s, Bakalářská práce, vedoucí doc. Ing. Vladimír VRBA, CSc.

Bakalářská práce se zabývá možnostmi zproduktivnění výroby složitých součástí. V úvodu práce jsou popsány materiály pro řezné nástroje. Dále jsou zde uvedeny další možnosti zproduktivnění z hlediska strojního a nástrojového vybavení. V diskuzi experimentů jsou popsány provedené zkoušky, které vedly ke zvýšení produktivity. Na základě výsledků zkoušek byla tato technologie doporučena k zařazení do výrobního procesu. Závěr práce obsahuje shrnutí z ekonomického hlediska.

Anotation of bachelor thesis

Gronych, V. Reengineering of Complicated Parts Mass Production. Ostrava: Department of Cutting and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VŠB –Technical University of Ostrava, 2010, 50 p, Bachelor work, supervisor: doc. Ing. Vladimír VRBA, CSc.

Bachelor thesis deals with possibilities of productivity increase production of complex parts. The introduction describes the cutting tool. There are presented further possibilities to increase productivity in terms of machinery and tooling equipment. In the discussion of experiments are described by the tests that led to increased productivity. Based on the results of testing this technology has been recommended for inclusion in the production process. The conclusion contains a summary of work in economic terms.

Obsah

Seznam použitých značek, veličin a jednotek.....	6
1. Úvod.....	7
2. Obecná charakteristika daného problému.....	8
2.1 Klein & Blažek spol. s r.o.....	8
2.1.1 Historie firmy.....	10
2.1.2 Popis sortimentu vyráběných výrobků.....	10
3. Možnosti zproduktivnění výroby daných součástí.....	11
3.1 Nástrojové materiály.....	11
3.1.1 Nástrojové oceli.....	12
3.1.1.1 Rychlořezné oceli (19 8xx).....	12
3.1.1.2 Oceli na lité nástroje (42 2992).....	15
3.1.2 Tvrdé řezné materiály.....	16
3.1.2.1 Slinuté karbidy.....	16
3.1.2.2 Keramické řezné materiály.....	17
3.1.2.3 Kubický nitrid boru (CBN).....	19
3.1.2.4 Technické diamanty.....	19
3.2 Třídění a označování tvrdých řezných materiálů.....	21
3.3 Porovnání řezných materiálů.....	22
3.4 Nástroje.....	24
3.4.1 Soustružnické nástroje.....	24
3.4.2 Tvarové soustružnické nože.....	27
3.4.3 Frézovací nástroje.....	28
3.4.4 Vrtací nástroje.....	30
3.5 Upínání.....	31
3.5.1 Upínání obrobků.....	31
3.5.2 Upínání nástrojů.....	32
3.6 Obráběcí Stroj.....	34
4. Návrh technologie obrábění vybrané součásti.....	35
4.1 Původní technologie obrábění.....	35
4.1.1 Obráběcí centrum Index ABC.....	35
4.2 Nynější technologie obrábění.....	37
4.2.1 Obráběcí centrum MultiDECO 20/6.....	37
5. Diskuze experimentů.....	39
5.1 Test a výsledky strojů.....	39
5.2 Test a výsledky nástrojů.....	40
6. Technicko ekonomické zhodnocení.....	43
6.1 Výpočet hospodárnosti pro zkoušené stroje.....	43
6.2 Výpočet hospodárnosti pro zkoušené nástroje.....	44
Závěr.....	49
Seznam použité literatury.....	50
Přílohy.....	53

Seznam použitých značek, veličin a jednotek

Značení	Význam	Jednotka
a_p	Hloubka řezu	[mm]
s	Posuv na otáčku	[mm]
v_c	Řezná rychlost	[m · min ⁻¹]
BN	Nitrid boru	
CBN	Kubický nitrid boru	
HRC	Tvrдость podle Rockwella	
HSC	Vysokorychlostní obrábění	
KM	Keramické materiály	
PKD	Polykristalický diamant	
PVD	Fyzikální způsob povlakování	
PMRO	Rychlořezné oceli vyráběné práškovou metalurgií	
RO	Rychlořezné oceli	
SK	Slinutý karbid	
VBD	vyměnitelná břitová destička	

1. Úvod

Strojírenství patří k odvětví, které má v české republice dlouhou a dobrou tradici. Stalo se nosným odvětvím ke zprůmyslnění méně rozvinutých oblastí. Dnes je toto odvětví zastoupeno ve všech částech republiky a vyznačuje se nejrovnoměrnějším rozmístěním. Kromě velkých strojírenských závodů existuje značný počet drobných závodů a drobných provozoven. ČR vždy patřila k předním výrobcům dopravních prostředků a se svou tradicí v oblasti výroby automobilů a svou vhodnou polohou, je atraktivní zemí z hlediska investic, navíc dlouhodobě zaznamenává v tomto oboru růst tržeb i produktivity práce. Česká automobilová výroba se významným způsobem podílí na celkových hospodářských výsledcích České republiky.

Pro budoucnost našeho strojírenství je nutné využívat více progresivnějších metod zpracování materiálu. Je zapotřebí správné volby technologie výroby s cílem dosáhnout výrobku, který by měl co nejlepší vlastnosti, požadovanou přesnost rozměru a drsnost povrchu, provozní bezpečnost a optimální náklady na údržbu s dlouhou životností. Při výrobě je tedy nutné používat nejmodernějších technologií jako je např. použití více vřetenových obráběcích center s použitím HSC technologie, automatizace a robotizace výroby, které nám napomáhají dosáhnout co nejnižších výrobních časů.

Mezi nejmodernější technologie obrábění také patří nekonvenční metody obrábění. Vlastnosti povrchu obrobku nám neudává jen technologie a konstrukce výroby, ale taky vhodně zvolený řezný nástroj a nástrojový materiál pro zhotovení daného obrobku.

Dnes se nejvíce využívají řezné materiály jako jsou např. povlakované a nepovlakované slinuté karbidy, cermety, řezná keramika, ale i super tvrdé řezné materiály jako je kubický nitrid boru nebo diamant.

Nové technologie nám musí posloužit ke zvýšení produktivity práce a snížení výrobních nákladů na zhotovení výrobku. Cena výrobků musí být přijatelná pro zákazníka jelikož konkurence ve strojírenství roste každým dnem a proto je nutné abychom využívali nových technologií a udržovali si tím stálého zákazníka.

2. Obecná charakteristika daného problému

Ve firmě Klein & Blažek spol. s r.o. se aktuálně vyrobí kolem 132 000 ks dílů HOLDER měsíčně a nynější výrobní kapacita se vyvíjí směrem k 150 000 ks HOLDER měsíčně, které jsou cílem firmy. Přitom kompletní roční produkce na obrobně je kolem 10 milionů různých dílů pro automobilový průmysl.

Cílem mé bakalářské práce je zproduktivnění hromadné výroby ve firmě Klein & Blažek spol. s r.o. Budu se převážně zabývat možnostmi zproduktivnění výroby a srovnáním produktivity současných a nově zakoupených strojů, které mají lepší vlastnosti než stávající stroje. Dále se budu zabývat dalšími možnostmi, které by mohli vést ke zvýšení produktivity při obrábění.

2.1 Klein & Blažek spol. s r.o.

Firma Klein & Blažek spol. s r.o. je již více než 30 let dodavatelem obráběných a tvářených kovových dílů pro automobilový průmysl. Firma sídlí na severní Moravě blízko hranice České republiky s Polskem v malém městečku Štítý.



Obr. 2.1 Poloha firmy

Podnik se nachází v bývalých prostorách podniku Jesan Štíty a Tírna Štíty s.r.o. V současné době pracuje ve firmě Klein & Blažek spol. s r.o. okolo 650 zaměstnanců a jejich počet stále roste. Téměř 90% výrobků míří do automobilového průmyslu, a to již více než 38 let. Firma Klein & Blažek je dodavatel kovových součástí a sestav, vyráběných zejména technologiemi tváření, obrábění, svařování, tepelného zpracování a montáže. Zákazníky firmy jsou významné světové automobilky a jejich obchodní partneři. Nabízí jim nejen spolehlivé plnění veškerých obchodních závazků, ale také kvalifikovanou spolupráci při vývoji výrobků a procesů, plánování jakosti, spolehlivé dodávky i zajištění po výrobního servisu a logistiky. [1]

Společnost každoročně vynakládá nemalé prostředky na investiční akce. Realizace veškerých výrobních i obslužných činností společnosti probíhá ve zrekonstruovaných nebo nových výrobních prostorách a na strojním vybavení, odpovídajícím nejvyššímu stavu techniky. Velký důraz je kladen na spokojenost zákazníka, na dobrou komunikaci s partnery a rychlou reakci na jejich potřeby, organizaci, kvalitu, vzdělávání zaměstnanců i na šetrnost k životnímu prostředí. Spokojenost zákazníků se projevila řadou ocenění. V poslední době například opakovanou nominací na cenu Volkswagen Group Award v letech 2005 a 2006 nebo získáním titulu Visteon Important Partner Award – Metals Commodity pro Evropu za 2005. [1]



Obr. 2.2 Pohled na hlavní budovu [1]

2.1.1. Historie firmy

Historie společnosti sahá do roku 1958, kdy byl za účelem zprůmyslnění pohraničí převod výroby domovních zvonků, dětských hraček a lisování bakelitu z Olomouce do Štítů. K rozvoji provozovny došlo zejména v roce 1960 a to z důvodu převzetí kooperačních prací. Stav pracovníků byl zvýšen na osmdesát. V roce 1970 byla dokončena výstavba nové výrobní haly a zároveň sem byla převedena první část výroby pro automobilové závody ŠKODA Mladá Boleslav. Jednalo se o součásti ovládacího zařízení vozů. [1]

Společnost Klein & Blažek spol. s r.o. se vyprofilovala jako osvědčený a spolehlivý dodavatel většinou jednotlivých kovových lisovaných a obráběných, technicky náročných dílů s vysokou sériovostí pro zákazníky z automobilového průmyslu. Obchodní spolupráce s partnery zvučných jmen nutí společnost beze zbytku dodržovat požadavky zákazníků, ať už jde o množství, termíny nebo jakost dodávek. [1]

2.1.2 Popis sortimentu vyráběných výrobků

Závod společnosti Klein & Blažek spol. s r.o. se sídlem ve Štítech dodává na trh téměř 90 % výrobků pro automobilový průmysl pro všechny světové značky. Firma se ve většině zabývá výrobou výlisků na postupových lisech. Obráběné díly do motoru a převodovek např. řemenice, rozvodové soukolí. Obráběné díly do klimatizací, svařované díly jako jsou např. držáky výfuků, tažná oka, výlisky s navařenými a lisovanými maticemi. Mimo automobilové díly se zde vyrábí zvonky, gongy, bzučáky a transformátorky. [1]



Obr. 2.3 Výrobky vyráběné ve firmě K & B spol s r.o [1]

3. Možnosti zproduktivnění výroby daných součástí

Pro maximální zproduktivnění výroby obráběného dílu musíme posoudit celý proces při kterém se výroba součásti realizuje. Tohoto procesu se zúčastňují všechny komponenty soustavy stroj - nástroj - obrobek - upínač. Pokud chceme obrábění urychlit, musíme prověřit všechny zmíněné složky.

3.1 Nástrojové materiály

Obrobitelnost materiálu je důležitá pro vývoj nových materiálů řezné části nástroje. Celý proces je spojený s požadavky na hospodárnost obrábění, která se zvyšuje s tím jak se prodlužuje trvanlivost řezné hrany a zároveň se zkracují vedlejší časy zejména výměnou nástroje. [2]

Při řezném procesu je jedním ze základních prvků technologické soustavy řezný nástroj. Na řezném nástroji závisí průběh vlastního obrábění. Stav nástroje, jeho vlastnosti jako jsou tvrdost, trvanlivost, odolnost proti opotřebení, a jeho kvalita tvoří neoddělitelnou součást nákladů na výrobu dílců. Současné požadavky na zvyšování produktivity obrábění, zkracování výrobních časů, zvyšování tvarové přesnosti a rozměrové tolerance, na kvalitu povrchu a také na možnosti opracování nových konstrukčních materiálů kladou důraz na volbu nových materiálů řezné části nástroje. Kvalitu řezného nástroje ovlivňují vlastnosti materiálu řezné části nástroje, který se v současné době rozděluje do dvou základních skupin a to jsou kovové materiály a nekovové materiály. [2]

Požadavky na řeznou část nástroje:

- odolnost proti teplotním rázům,
- schopnost udržet si tvrdost a chemickou stálost i při vysokých teplotách,
- dostatečná tvrdost, která zajišťuje odolnost proti opotřebení a deformaci břitu,
- vysoká houževnatost,
- chemická stabilita, která zajistí odolnosti proti oxidačnímu a difuznímu opotřebení.

[3]

3.1.1 Nástrojové oceli

Nástrojové oceli patří k nejstarším průmyslově používaným materiálům obráběcích strojů. Tepelným zpracováním získávají vhodné vlastnosti pro obrábění. [3]

Nástrojové oceli se používají na nástroje na obrábění, řezání, stříhání, tváření za studena i za tepla, měřidla a podobně. Na materiály pro výrobu nástrojů jsou kladeny vysoké nároky. Požadujeme aby řezné vlastnosti zůstali po dlouhou dobu nezměněny. Používané oceli by měli mít vyšší tvrdost a pevnost než obráběný materiál a současně také velkou odolnost proti opotřebení. [4]

Tvrdost nástrojových ocelí je definovaná jako odpor, který klade materiál proti vnikání cizího tělesa. Tvrdost vyjadřuje schopnost nástroje odolávat otěru a opotřebování v provozních podmínkách. Odolnost proti opotřebení závisí na tvrdosti a struktuře oceli a také na kvalitě zpracování opracovaného povrchu a provozních podmínkách nástroje. Většina opotřebení má abrazivní a adhezní charakter. Při abrazivních opotřebení dochází k vydírání mikroobjemových kovových částic materiálu z aktivní části povrchu nástroje při jeho kontaktu s obrobkem. Adhezní opotřebení vzniká při tvorbě mikrosvarů a nalepováním částic materiálu. [2]

3.1.1.1 Rychlořezné oceli (19 8xx)

Rychlořezné oceli jsou oceli třídy 19 8xx, které vhodnou kombinací uhlíku, vybraných legujících prvků jako wolfram, chrom, vanad, molybden, kobalt a způsobu tepelného zpracování dosahují vlastností, které je odlišují od nástrojových uhlíkových a legovaných ocelí a umožňují jim široké použití na výkonné řezné nástroje. [2]

Obsah uhlíku v rychlořezných ocelích se pohybuje mezi 0,65 až 1,5 %. Obsah karbidů příznivě ovlivňuje řezivost, při vyšším obsahu je třeba počítat s poklesem houževnatosti a zvýšeným sklonem ke karbidické řádkovitosti. [4]

Rychlořezné oceli vyrobené práškovou metalurgií (PM-RO)

Rychlořezné oceli vyrobené práškovou metalurgií představují nový přístup, který umožňuje vytvářet velmi disperzní a homogenní struktury a vývoj nestandardních chemických variant v závislosti na použité metodě zpracování. Vyrábí se lisováním ingotů nebo tvarováním řezných elementů i celých nástrojů z práškové oceli s následným slinováním. Dále se tváří klasickým způsobem např. kování, válcováním apod. Rychlořezné oceli vyrobené práškovou metalurgií vykazují vysokou homogenní strukturu oceli a umožňují výrobu nekonvenčního chemického složení ocelí, tj. obsahu legujících prvků a uhlíku, kterého nejde klasickou metalurgií dosáhnout. Při srovnání s RO mají lepší provozní technologické vlastnosti jako je tvařitelnost, brousitelnost, leštitelnost. Dále vykazují vyšší houževnatost, nižší energetickou, materiálovou a ekologickou náročnost. Jsou vhodné pro všechny typy nástrojů a obrábění. Cena těchto ocelí vyrobených práškovou metalurgií je vyšší než výroba klasických RO ocelí a proto je celková produkce v porovnání s RO asi jen 10%. [3]

Vliv jednotlivých legujících prvků na vlastnosti RO**Wolfram (W)**

Základní legující prvek. Vytváří velmi tvrdé, vůči opotřebení odolné karbidy a pevný, vůči popouštění stálý martenzit a otěr při vyšších teplotách. Podporuje stálost tvrdosti i za vyšších teplot. Celkově zvyšuje řezivost RO. Při nižším obsahu tvrdost RO klesá, při vyšším obsahu roste její křehkost. [3]

Chrom (Cr)

Tvoří samostatné, velmi tvrdé karbidy a zvyšuje prokalitelnost RO. Stabilizuje karbidy i při vyšších teplotách. Optimální obsah Cr = 4%. Při nižším obsahu je RO karbidicky nestejnorodá, při vyšším obsahu roste její křehkost. [3]

Vanad (V)

Jeho slučivost s uhlíkem je vysoká, a proto tvoří samostatné, velmi tvrdé karbidy, podstatně tvrdší než karbidy ostatních legujících prvků. Zjemňuje zrna a zvyšuje tak tvrdost RO rychleji, než její křehkost. Minimální obsah vanadu v RO musí být 1 %. [3]

Molybden (Mo)

Na základní vlastnosti RO má stejný vliv jako wolfram. Působí navíc příznivě na rovnoměrnost a jemnost struktury RO. Může plně nahradit wolfram v poměru 1 : 2. Pro svoji vysokou řezivost jsou označovány jako vysokovýkonné RO. V mnoha státech převažuje jejich výroba nad výrobou RO na bázi W. [3]

Kobalt (Co)

Při popouštění RO se vylučuje jako fáze CoW a vykazuje značnou tvrdost. Zvyšuje stabilitu přechodových struktur vzniklých kálením. Zabraňuje zhrubnutí zrna při ohřevu RO na vyšší kalící teploty. RO obsahující kobalt (nepřesahují 10 %) vykazují vysokou řezivost, ale současně také větší křehkost, a nedoporučují se proto na nástroje s jemnými břity. Podle obsahu jednotlivých legujících prvků a vlastností jsou vhodné pro namáhané nástroje, k obrábění ocelí a ocelí na odlitky o vysoké pevnosti a tvrdosti a těžko obrobitelných materiálů. Při hrubování vysokými rychlostmi jsou vhodné především oceli s velkým množstvím kobaltu. Pro obrábění na čisto a nástroje velmi namáhavé při vysokých rychlostech jsou vhodné RO s velkým obsahem molybdenu. Při větším obsahu legujících prvků vyžadují rychlořezné oceli zcela odlišné tepelné zpracování. [3]

Povrchová úprava rychlořezných ocelí

Způsob výroby, tepelné zpracování a chemické složení dávají rychlořezným ocelím určující vlastnosti, které se mohou povrchovou úpravou ještě vylepšit. Cílem povrchových vrstev je zvýšení životnosti a výkonnosti nástroje. Kromě konvenční povrchové úpravy nitridací a chromováním se za posledních 10 let výrazně zvýšilo vakuové pokovování resp. nanášení tenkých vrstev ve vakuu metodami PVD (Physical Vapour Deposition). Povlaky

PVD na nástrojích a řezných destičkách z rychlořezné oceli znamenali kvalitativní skok ve vývoji řezných nástrojů, protože vyplnili do určité míry mezeru ve výkonnosti mezi konvenčními nástroji z RO a nástroji ze slinutých karbidů. Všude se uvádí, že tenké vrstvy na rychlořezných ocelích poskytují menší zlepšení řezných vlastností jako na povlaky na slinutých karbidech. Na druhou stranu zvýšení trvanlivosti řezné hrany se uvádí mezi 50 až 300%, což není vůbec zanedbatelné hlavně pro tvarové nástroje. Nejčastěji patří mezi aktivovaný povlak TiN, používá se asi na 60 % povlakovaných nástrojů, další jsou povlaky TiAlN a TiCN. Povlaky o hloubce 4 až 5 μm zvyšují odolnost řezné části nástroje proti abrazivnímu i chemickému opotřebení a snižují koeficient tření mezi čelní plochou nástroje a odcházející třískou. [2]

Povlakování se provádí jako finální operace na hotovém nástroji a pokud požadujeme, aby vrstva dokonale přilnula musí být povrch nástroje dokonale kovově čistý, celobroušený i na nefunkčních plochách a povrch nesmí být opatřen žádným jiným povlakem např. galvanickým nebo chemicko tepelným zpracováním. Pokud nebudou tyto podmínky splněny hrozí nám nebezpečí špatné kvality povlaku a zhoršený výsledného efektu, tj. trvanlivosti ostří nástroje. [3]

3.1.1.2 Oceli na lité nástroje (42 2992)

V současnosti se řada nástrojů vyrábí přesným litím. Při výrobě nástrojů metodou přesného lití se podstatně snižuje spotřeba materiálu a výrobní náklady. Obsahem legujících prvků odpovídají rychlořezným ocelím. Jsou vhodné na výrobu fréz, pilových segmentů, výhrubníků apod. Vliv legujících prvků je stejný jako u rychlořezných ocelí. Nástroje z litých ocelí mají pouze nižší houževnatost. [4]

3.1.2 Tvrdé řezné materiály

3.1.2.1 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy (SK) jsou dvoufázové nebo vícefázové nástrojové materiály vyráběné práškovou metalurgií z karbidů těžkých kovů: karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC), karbid tantalu (TaC) a nízkotavitelného pojidla kobaltu. [3]

Slinuté karbidy nejsou slitiny, ale směsí dvou a více fází. Následné tepelné zpracování už není možné. SK jsou velmi tvrdé a proto se dají tvarově a rozměrově upravovat jen omezeně a to broušením, lapováním a elektroerozivním obráběním. Množstvím jednotlivých složek lze při výrobě SK ovlivňovat jejich tvrdost, houževnatost, ale i odolnost proti otěru. Při znalostech vlastností jednotlivých složek se může využít možností jednotlivých typů SK. [2]

Karbid wolframu

- zabezpečuje odolnost proti opotřebení
- tvrdost za vysoké teploty a
- chemickou stálost

[2]

Karbid titanu

- snižuje odolnost proti otěru a houževnatost
- zvyšuje tvrdost a chemickou stálost za vyšších teplot
- snižuje pevnost SK v ohybu a zvyšuje jejich křehkost
- zhoršuje tepelnou vodivost a zvětšuje tepelnou roztažnost SK

[2]

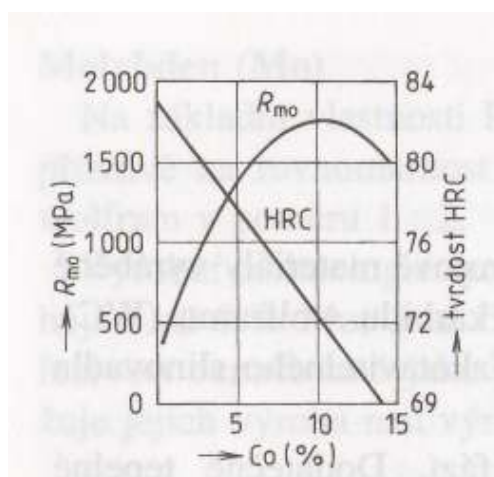
Karbid tantalu

- ve spojení s WC zvyšuje odolnost proti opotřebení za vysokých teplot
- zvyšuje houževnatost a odolnost proti tepelným rázům

[2]

Kobalt

Je nekarbidotvorný prvek, plní funkci spojovací fáze mezi zrny karbidů. Karbidy wolframu jsou při slinování v kobaltu rozpustné, proto kobalt vytváří proti jiným kovům pojivo značně houževnaté a je nositelem pevnosti SK v ohybu. Zvýšením obsahu kobaltu ve slinutém karbidu roste pevnost a tažnost, ale jejich tvrdost značně klesá. (obr. 3.1) Slinuté karbidy se vyrábí ve tvaru destiček normalizovaných tvarů a rozměrů. Destičky jsou buď pájené na držáku a nebo se mechanicky upínají na řeznou část nástroje. Mechanicky upínané destičky mají více řezných částí (hran), které lze po otupení jedné hrany otočit a využívat dále. Po otupení všech řezných hran se již dále neobnovují- neostří se a proto je nemůžeme dále používat. Pro větší rozsah použití se vysoce houževnaté SK destičky povlakuji i několika vrstvami karbidů speciálních vlastností, které zaručují tvrdost a otěruvzdornost, a tím i zvyšují životnost nástroje a kvalitu povrchu obrobku. Zvyšují také odolnost proti vysokým teplotám a zaručují přilnavost následujících vrstev. [2]



Obr. 3.1 Závislost tvrdosti podle Rockwella (HRC) a pevnosti v ohybu (R_{mo}) slinutých karbidů (SK) na obsahu kobaltu [7]

3.1.2.2 Keramické řezné materiály

Keramické materiály řadíme jako další skupinu řezných materiálů. Pro výrobu řezné keramiky se používá jako základní materiál oxid hlinitý (Al_2O_3). Výchozí surovinou jsou velmi čisté a jemnozrné prášky základních surovin, které se mísí, tvarují, suší, slinují a nakonec upravují do požadovaného tvaru. Keramické destičky neobsahují žádnou pojící fázi tak jak je použito u slinutých karbidů. Mají velmi malou pevnost v ohybu, a nejsou proto vhodné k obrábění přerušovaným řezem a k obrábění s většími průřezy třísek. V porovnání se SK jsou při stejné tvrdosti podstatně odolnější proti otěru. Ve srovnání se

SK je možné při soustružení řeznou keramikou dosáhnout dvou až čtyřnásobnou vyšší řeznou rychlost. Tvrdost řezné keramiky při teplotě 1000 °C je srovnatelná s tvrdostí oceli při pokojové teplotě. Pořizovací cena řezné keramiky je ve srovnání se SK zanedbatelná. Po otupení všech řezných hran se již neostří a nepoužívají. [3]

Řezná keramika se dělí to tří skupin:

- Čisté oxidy** - je to téměř čistý oxid hlinitý téměř 99% (Al_2O_3) s malým obsahem látek usnadňující slinování a zabraňujících růst zrna.
- Cermety** - tvořeny směsí oxidu hlinitého (Al_2O_3) a neoxidických materiálů v objemu 20 až 40 %. Cermety mají oproti čistým oxidům vyšší houževnatost i tvrdost.
- Karbidové oxidy** - základním prvkem je oxid hlinitý (Al_2O_3), jako přísady se používají např. nitrid křemíku Si_3N_4 . Karbidické oxidy mají vyšší houževnatost, jemnou strukturu a odolnost proti opotřebení v porovnání s čistými oxidy.

V tabulce 1. je uvedeno několik druhů řezné keramiky vyráběných v ČR.

Označení	Chemické složení	Tvrdost HRC	Použití
Disal D 100	Al_2O_3	91 - 94	Vysoká tvrdost a odolnost proti opotřebení za vysokých teplot (až 1 200 °C). Obrábění šedé litiny a konstrukčních ocelí nepřerušovaným řezem (až 1000 m/min).
Disal D 210/220	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$	94 - 95	Obrábění šedé litiny, konstrukčních zušlechťených a rychlořezných ocelí, vhodná pro přerušovaný řez.
Disal D 310/320	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$	93 - 96	K obrábění kalených ocelí, (do 64 HRC) přerušovaným řezem, vhodná pro střední a jemné frézování, tato keramika je odolná proti teplotním šokům, což umožňuje obrábění s chladicí kapalinou
Disal D 400	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Si}_3\text{N}_4$	91 - 93	Pro obrábění všech druhů litin, lze použít i procesní kapalinu, vhodná pro frézování při max. rychlostech

Tabulka 1. Druhy řezné keramiky [8]

3.1.2.3 Kubický nitrid boru (CBN)

Kubický nitrid boru je synteticky vyrobený materiál, který se v přírodní formě nevyskytuje. Transformace hexagonálního BN v kubický CBN se děje při tlaku 50 až 90 kbar a teplotě 1800 až 2000 °C. Vlastnosti CBN se podobají vlastnostem diamantu. CBN patří k velmi tvrdým materiálům s vysokou pevností za tepla (až 1300°C), s výbornou odolností proti opotřebením a chemickou stabilitou k železným kovům. [3]

Nástroje z kubického nitridu boru lze obrábět velmi tvrdé materiály jako např. kalenou ocel o tvrdosti až 65 HRC s hloubkou řezu až 4 mm, posuvem až 0,5 mm, a řeznou rychlostí až 260 m.min⁻¹. Pro hrubování a dokončování lze šedou litinu obrábět vysokými řeznými rychlostmi 400 až 500 m/min, rychlostí posuvu až 1600 m/min a malou hloubkou řezu asi 0,5 mm. Při takových podmínkách mají nástroje dlouhou trvanlivost a pomalé opotřebení. Nástroje z CBN zvyšují produktivitu výroby až 10 násobně, protože umožňují kumulovat jednotlivé operace tvarování a dokončování, tj. odbourávají operace jako jsou broušení a lapování. [2]

3.1.2.4 Technické diamanty

Přírodní diamant je modifikací uhlíku, který obsahuje jen velmi malé množství příměsí jiných chemických prvků. Diamant je nejtvrdší minerál a nelze jej nahradit slinutými karbidy ani keramickými řeznými materiály. Technické diamanty jsou buď **přírodní** nebo **syntetické** vyrobené uměle. Syntetické diamanty jsou oproti přírodním diamantům levnější, ve všech osách mají stejnou pevnost a tudíž mají lepší mechanické vlastnosti. Nevýhodou jsou malé krystaly nevhodné pro mechanické upínání. Tato nevýhoda byla odstraněna výrobou tzv. kompakťů. Práškovou metalurgií je nanášena vrstva syntetického polykrystalického diamantu o tloušťce 1mm na podklad ze slinutého karbidu wolframu nebo čistého wolframu, čímž vzniká kompakť, který se pájí na řeznou část nástroje nebo je částí VBD (obr. 3.2). Polykrystalické kompakty jsou houževnatější jak monokrystalické diamanty. Při porovnání s ostatními řeznými nástroji vykazují polykrystalické diamanty několikanásobným zvýšením trvanlivosti řezné hrany nesporné výhody. Při obrábění nástroji z polykrystalického diamantu se dosahuje kvalitnějšího povrchu tím, že můžeme několikanásobně zvýšit řeznou rychlost v porovnání ze slinutým karbidem, např. při obrábění hliníkových slitin. Dosahujeme zvýšení produktivity práce a hospodárnost

obrábění. Vysoká cena destiček a nevhodnost pro obrábění materiálů na bázi železa omezují použití nástrojů z polykrystalického diamantu. Nástroje z PKD se používají na obrábění plastů s abrazivními plnivy, sklolaminátu, skla, keramiky, slinutých karbidů a neželezných kovů na bázi Al, Cu, Ti. Vysoká trvanlivost a životnost nástroje má výhody ve velkosériové a hromadné výrobě, např. v automobilovém průmyslu, kde se používá na soustružení, vrtání apod. Moderní obráběcí stroje s vysokou tuhostí, jemnými posuvy a vyšším výkonem urychlují rozšiřování použití nástrojů z PKD. Při velmi přesném obrábění a mikrořezání se doporučují monokrystalické diamanty, které při úpravě řezného klínu dosahují ostřejší hrany jak PKD. [2]



Obr. 3.2 Břitové destičky s kompakty polykrystalického diamantu nebo polykrystalického CBN [6]

3.2 Třídění a označování tvrdých řezných materiálů

Velký počet vyráběných různých druhů tvrdých materiálů dává výrobcům povinnost kromě firemního třídění a značení zařadit a označit své výrobky podle vlastností do skupin podle příslušné normy. Tato norma rozděluje a označuje tvrdé řezné materiály, jako jsou polykrystalické diamanty, nitridy boru, slinuté karbidy a keramické materiály do:

Skupin podle obráběného materiálu

Podle ISO normy jsou tři hlavní skupiny, které jsou označeny písmeny P, M, K. Každá skupina má své označení, skupina P modrou, M žlutou, K červenou barvou.

Skupin podle pracovních podmínek

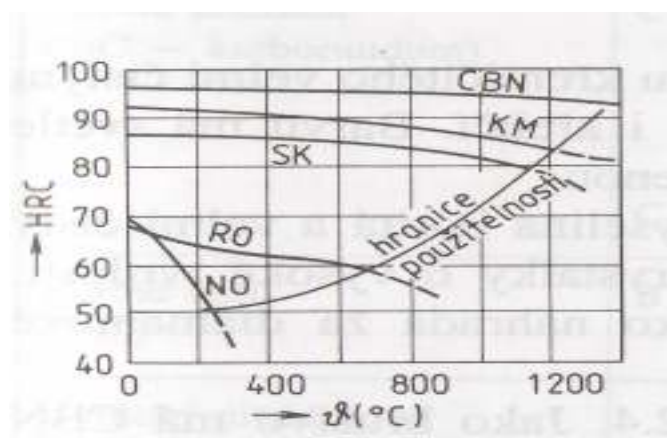
Každá hlavní skupina je rozdělena na podskupiny použití podle pracovních podmínek. Každá podskupina použití je označena písmenem hlavní skupiny a číslem, např. P10, P20 až P50. Čím je číslo vyšší vyjadřuje vyšší obsah pojícího kovu, vyšší houževnatost a pevnost v ohybu, ale nižší tvrdost a otěruvzdornost materiálu. Značení může být i jemnější např. K15 (mezi K10 a K20), nebo P01.1 vysoká odolnost proti opotřebení, pro dokončovací operace. Tato klasifikace neurčuje jakost materiálů, ale udává pouze rozsah pracovních podmínek a způsob použití viz tab.2

3.3 Porovnání řezných materiálů

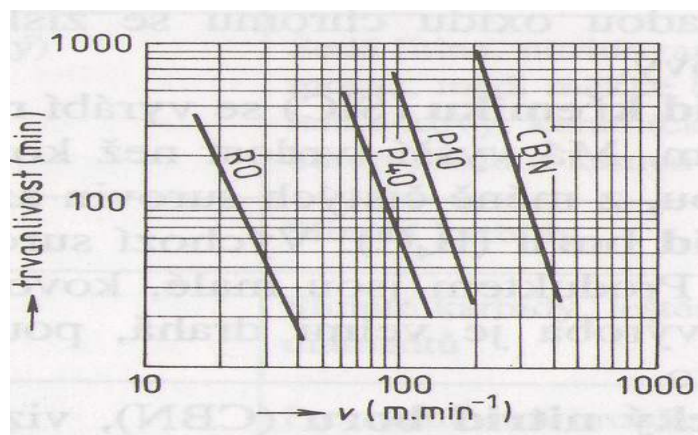
Hlavní skupina obrábění			Skupina použití	
Symbol	Barevné označení	Obráběný materiál	Označení	Pracovní podmínky
P	Modrá	Ocel, materiály tvořící dlouhou třísku	P01	Soustružení na čisto a jemné vyvrtávání, vysoké řezné rychlosti
			P10	Soustružení, frézování, malý a střední průřez třísky, vysoké řezné rychlosti
			P20	Střední průřezy a řezné rychlosti, přerušovaný řez
			P30	Střední a velké průřezy třísky, střední a nízké rychlosti, přerušovaný řez
			P40	Velké průřezy třísek, nízké rychlosti, práce na automatech, přerušovaný řez
			P50	Těžké obrábění, velké průřezy, malé rychlosti, velké průřezy třísek, těžký přerušovaný řez
M	Žlutá	Korozivzdorná ocel, austenitická, vysokolegovaná s krátkou nebo dlouhou třískou	M10	Soustružení, střední a vysoké rychlosti, malé a střední průřezy třísek
			M20	Soustružení, frézování, střední rychlosti a průřezy třísek, přerušovaný řez
			M30	Soustružení, frézování, čelní soustružení, střední rychlosti, střední a velké průřezy třísek
			M40	Soustružení tvarů, malé rychlosti, velké průřezy třísek, dělení materiálu
K	Červená	Litina, materiály s krátkou třískou, nerezové kovy, ocel nízké pevnosti	K01	Jemné obrábění bez vibrací, zaškrabávání
			K10	Střední rychlosti, malé a střední průřezy, přerušovaný řez
			K20	Střední rychlosti, malé a střední průřezy, přerušovaný řez
			K30	Proměnná hloubka řezu. Proměnná tvrdost obrobku, vibrace
			K40	Speciálně pro tvrdé a měkké dřevo a nerezové kovy

Tab.2 Klasifikace tvrdých řezných materiálů podle použití [6]

Správnou volbou řezných materiálů pro jednotlivé způsoby obrábění nám usnadní porovnání jejich vlastností. Porovnáním ztráty tvrdosti vlivem teploty řezání (obr.3.3) můžeme usoudit, že legované nástrojové oceli je možné použít pro práce, kde teplota řezání nepřesáhne 200 až 250 °C. RO lze použít do teplot řezání 550 až 600°C a SK do teplot 800 až 900°C. Pro nejvyšší teploty řezání (1000 až 1200°C) lze použít KM a pro teploty 1400 až 1600°C polykrystalický CBN. Nejvýhodnější pro vysoké teploty řezání jsou KM a CBN. Zvýšení křehkosti se projevuje téměř ve stejném pořadí. Závislost trvanlivost ostří jednotlivých druhů nástrojových ocelí znázorňuje obr. 3.4. Z obrázku lze usoudit, že nejvíce citlivá na zvýšení řezné rychlosti legovaná nástrojová ocel.



Obr. 3.3 Závislost ztráty tvrdosti (HRC) nástrojových materiálů na teplotě řezání [6]



Obr. 3.4 Závislost trvanlivosti ostří řezných materiálů na řezné rychlosti [6]

3.4 Nástroje

3.4.1 Soustružnické nástroje

U soustružení se mezi nejpoužívanější nástroje na obrábění používají soustružnické nože. Jsou to jednobřité nástroje a jsou jednoduché z hlediska údržby. Základními prvky soustružnických nástrojů jsou:

- tvar řezného klínu,
 - materiál řezné části,
 - průřez tělesa nástroje.
- [9]

Z technologického hlediska je můžeme rozdělit na :

- radiální (nejvíce používané),
 - tangenciální,
 - kotoučové,
 - prizmatické.
- [9]

Rozhodujícím hlediskem ovlivňující konstrukci břitu nástroje je způsob upevnění k řezné části nebo k tělesu nástroje. Z tohoto hlediska můžeme rozdělit nože na :

- monolitní,
 - s pájenou břitovou destičkou,
 - s mechanicky upínanou destičkou.
- [3]

Volba způsobu upevnění závisí na druhu a velikosti nástroje, zvoleném nástrojovém materiálu, počtu vyráběných kusů a dostupné technologii. Monolitní soustružnické nože jsou takové u nichž je řezná část a těleso držáku z jednoho materiálu, nejčastěji rychlořezné oceli. Řezná část se tvoří vybroušením řezných ploch požadovaných tvarů do předem kalených a broušených polotovarů z RO.

[3]

Mezi výhody patří jednoduchá výroba a možný velký počet přestřeni. Hlavní nevýhodou u těchto nástrojů velká spotřeba kvalitního nástrojového materiálu, obtížnější tepelné zpracování a renovace. [3]

Pájení břitových destiček se pro jednoduchost a spolehlivost používá jako častý způsob připevňování břitu k tělesu nástroje. Nejčastěji se používají k pájení destičky ze slinutých karbidů popř. jiných materiálů, kterým nevadí vysoká teplota pájení. U hromadné výroby nožů jsou destičky z SK určené k pájení normalizovány. [3]

Výhody pájených nástrojů:

- úspora řezného materiálu,
- pevný a stabilní spoj,
- možnost renovace.

Nevýhody pájených nástrojů:

- možnost vzniku pnutí a následných trhlin,
- možnost teplotního ovlivnění řezného i konstrukčního materiálu,
- možnost vzniku teplotních deformací.

[3]

Mechanické upínání břitů se v poslední době výrazně rozšířilo a bude se rozšiřovat dál. Vedle hlavního využití u soustružnických nožů se toto upíná osvědčilo např. u fréz, vrtáků, vyvrtávacích nástrojů apod. Podstatou této konstrukce je upínání přesných vyměnitelných destiček vyrobených ze slinutého karbidu, rychlořezné oceli, keramických materiálů, které se mechanicky upínají do lůžka v tělese nástroje. Po opotřebení se břit snadno vymění nebo při použití vícehraných destiček lze destičku otočit a nastavit tak nový břit. Po opotřebení všech břitů se destička již dále nepoužívá. [3]

Výhody konstrukce s vyměnitelnými břitovými destičkami:

- zkrácení vedlejších časů díky rychlé výměně bez opětovného seřizování,
- odpadá přestavení nástrojů,
- úspora konstrukčních materiálů,
- možnost použití takových nástrojů, které nelze lepit ani pájet,
- menší nároky na skladové hospodářství.

Nevýhody nožů s vyměnitelnými destičkami:

- vyšší pořizovací cena,
- složitější konstrukce nástrojů,
- větší nároky na konstrukční prostor nástroje.

[3]

Vhodnou volbou nástroje můžeme docílit lepších výsledků při obrábění. Při velkosériové výrobě volíme soustružnické nože pokud možno s vyměnitelnými břitovými destičkami. Ne vždy můžeme volit nástroje s VBD, při výrobě malých součástí nelze volit nástroje s VBD z důvodu většího potřebného prostoru pro mechanické upínání destiček, proto volíme nástroje s pájenými břitovými destičkami, nebo nástroje monolitní.

Pro obrábění menších tvarově složitých součástek vyráběných ve velkosériové výrobě použijeme nože tvarové. Použití tvarových nožů je výhodné z hlediska vysoké produktivity, přesnosti a velkého počtu ostření. Soustružnické nože i vyměnitelné břitové destičky ze slinutých karbidů jsou normalizovány v jednotném systému ISO.

Použitím vyšších řezných rychlostí a posuvů, ale také pomocí nových a kvalitních řezných nástrojů lze dosáhnout zvýšení produktivity obrábění až o 20 %. Se zvýšením produktivity se také předpokládá zvýšení jakosti obrobeneho povrchu i funkční spolehlivosti nástrojů a to za současného snižování časů a tedy i celkové ceny výrobku.

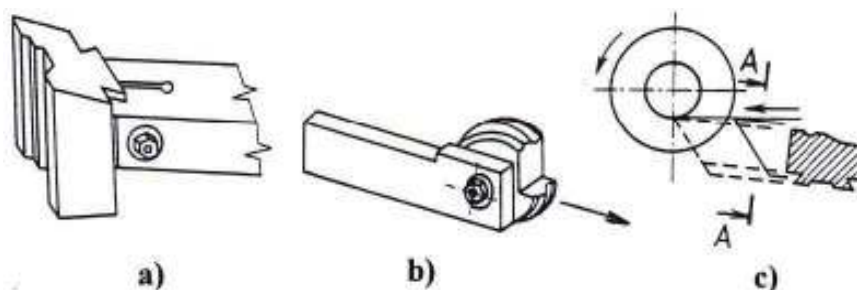
3.4.2 Tvarové soustružnické nože

U tvarových nožů odpovídá tvar ostří požadovanému tvaru obrobku, ostří není přímkové. Nástroj je zakoupen jako normalizovaný a následně se nechává vybrousit do požadovaného tvaru, nebo se již nechá zhotovit na požadovaný tvar u výrobce. Tvarové nástroje mohou být monolitní z rychlořezné oceli nebo může být požadovaný tvar vybroušen do VBD. Při použití tvarových nástrojů se nám snižují náklady na pořizování dalších nástrojů a strojní časy, což se odvíjí i na ceně výrobku.

V dnešní době se využívá vybrušování tvarů do VBD ze slinutých karbidů viz obr. 3.5. Tyto destičky lze po otupení snadno vyměnit, popř. přebrousit a odpadají nám časy na ustavování nástroje. Druhy tvarových nástrojů jsou znázorněny na obrázku č. 3.6.



Obr.3.5 Tvarová VBD



Obr.3.6 Tvarové soustružnické nože a)prizmatické, b)kotoučové, c)tangenciální [9]

3.4.3 Frézovací nástroje

Frézy vyráběné z rychlořezné oceli již dnes nemají takové uplatnění jako nové typy fréz. Pro zvyšování produktivity při obrábění frézováním nám hodně pomáhají nástrojové materiály, které jsou popsány v kapitole 3.1.

Pro obrábění hliníkových slitin byli vyvinuty monolitní tvrdokovové frézy. Jako řezný materiál využívají nejmodernější mikrozrnny karbid micrograin, díky tomuto materiálu bylo dosaženo extrémně ostré řezné hrany, zaručující výborné výsledky při frézování hliníkových slitin s nízkým obsahem křemíku, stejně jako při frézování měkkých slitin mědi a syntetických materiálů. Pro obrábění slitin hliníků s vysokým obsahem křemíku se vyrábí monolitní tvrdokovové frézy s extra hladkým diamantovým povlakem o různých tloušťkách viz obr. 3.7. Geometrie těchto nástrojů byla vyvinuta tak, aby kontakt mezi třískou a břitem nástroje byl limitován do úzké oblasti což odstraňuje nebezpečí studených svarů velmi měkkých a ulpívajících obráběných materiálů. [5]



Obr. 3.7 Monolitní frézy povlakované diamantem [5]

Jako další frézy pro zvýšení produktivity frézování se používají frézovací nástroje s břity z polykrystalického diamantu. Tyto frézy přinášejí výhodu extrémní tvrdosti a vysoké trvanlivosti břitu a jsou vhodné pro obrábění neželezných kovů. Všechny tyto frézy se vyrábí s vnitřním přívodem chladicí kapaliny pro lepší chlazení. [5]

Mezi další produktivní nástroje se řadí frézy s břity z kubického nitridu boru. Břity jsou připájeny k základnímu monolitnímu tělu nástroje. Vysoká tvrdost tohoto materiálu dovoluje bezpečný způsob obrábění kalených ocelí s vysokou trvanlivostí břitu nástroje. [5]

V mnohých případech můžeme pro frézování použít tvarou frézu, která nám urychlí výrobu daného dílu. Tvarové frézy (obr 3.8) se vyrábí jak stopkové tak i nástrčné, používají se např. při výrobě složitějších dílů u velkosériové výroby.



Obr. 3.9 Tvarová fréza

Velkým přínosem pro produktivitu frézování mají v dnešní době frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami obr.3.10. Produktivita závisí například na zkracování doby cyklu, rychlé výměně řezných destiček, vyššího úběru materiálu a maximální kvality vyráběných dílů. Jednou z výhod těchto frézovacích nástrojů je rychlá výměna destičky a možnost použití destiček z různých materiálů. Jako nevýhodu bychom mohli považovat vyšší pořizovací ceny těchto nástrojů.



Obr. 3.10 Nástrčná fréza s VBD [9]

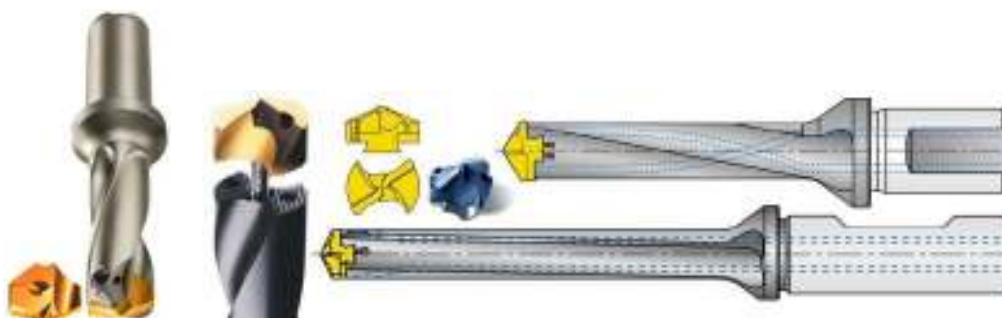
3.4.4 Vrtací nástroje

Pro produktivní vrtání se dnes používají monolitní vrtáky ze slinutých karbidů bez povlaků nebo s povlaky proti otěruvzdornosti většinou na bázi TiN (obr. 3.11) [9]



Obr. 3.11 Vrták s povlakem na bázi TiN [9]

Často využívané se dnes volí vrtáky s vyměnitelnou špičkou, která se vyrábí ve formě břitové destičky nebo hlavice. (obr.3.12) Nejčastěji se pro výrobu volí povlakovaný slinutý karbid. Destičky z SK jsou v tělese držáku upnuty pomocí šroubů přímo nebo u větších vrtáků pomocí kazet, které usnadňují výměnu a chrání lůžko před opotřebením. Téměř všechny vrtáky s VBD mají centrální přívod řezné kapaliny a můžeme je použít pro soustružení vnějších nebo vnitřních válcových ploch. [9]



Obr. 3.12 Vrták s VBD a vyměnitelnou hlavicí

Jako další možností pro zvýšení produktivity je možno použít sdružené vrtáky vyrobené přímo podle požadovaného rozměru (obr.3.13). Nejčastější variantou jsou sdružené vrtáky, které nám vrtají díry a zároveň sráží hrany. Při použití těchto vrtáků dosahujeme nižších časů na výrobu dílu z důvodu zhotovení na jeden vrtací cyklus.



Obr. 3.13 Sdružený nástroj pro vrtání a zahlubování s VBD [9]

3.5 Upínání

3.5.1 Upínání obrobků

Upínání musí být spolehlivé, jednoduché, rychlé a vykazovat dostatečnou tuhost a zajistit tak polohu obrobku vzhledem k nástroji. Používají se řady upínacích elementů nebo jejich kombinací. Způsob upínání závisí především na tvaru a hmotnosti obrobku. Mezi nejpoužívanější upínací zařízení patří univerzální sklíčidlo. Obvyklý způsob upínání je ruční, méně častý pneumaticky, hydraulicky nebo elektricky. Poslední tři možnosti nám výrazně zkracují čas na upínání obrobků. [9]

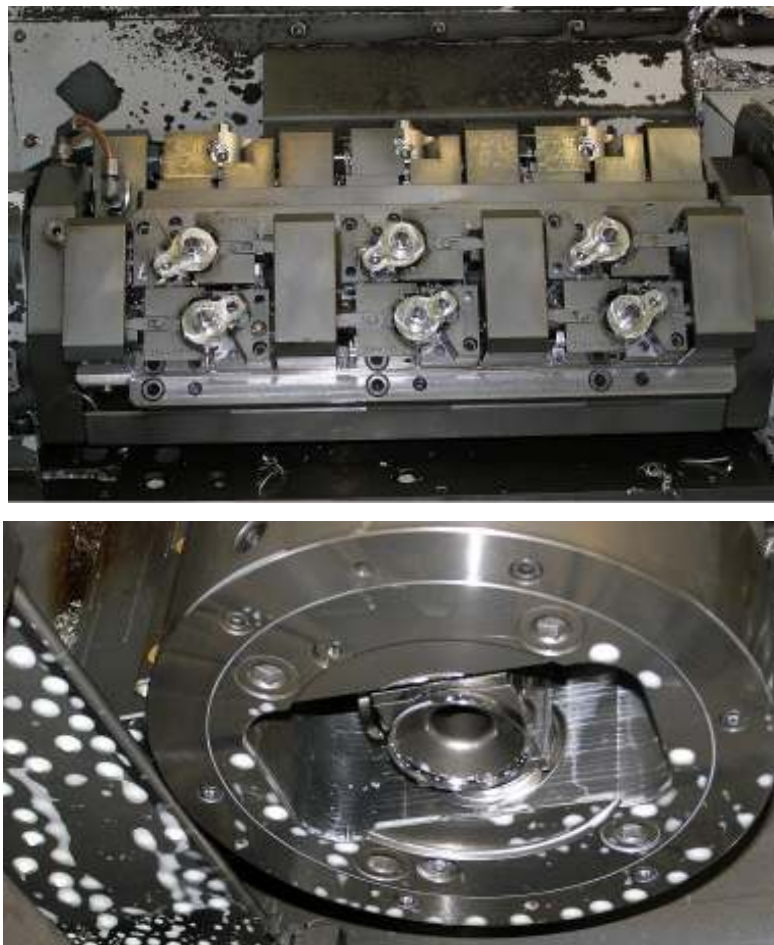
U soustružnických automatů a poloautomatů používáme samosvorná sklíčidla což nám zrychlí celkový čas na výrobu součásti. Když se tato sklíčidla začnou otáčet automaticky sevřou obrobek. U menších průměrů tyčí se upíná do kleštín obr.3.14. Kleštiny patří mezi velmi přesné upínání obrobku, kde zajistí souosost 0,1 až 0,05 mm. V sériové výrobě se u složitějších tvarů často využívá upínání pomocí upínek. Toto upínání zaručí nejen přesnou, ale i rychlou a jednoduchou obsluhu. [9]



Obr. 3.14 Upínací kleština

Upínání obrobků s pomocí přípravků

Při obrábění složitějších dílů v sériové výrobě nám práci značně urychlí upínání s pomocí přípravků viz obr 3.15. Při frézování složitějších tvarů, kde se často musí měnit nástroj a prodlužují se tím strojní časy nám přípravek značně urychlí výrobu. Přípravky mohou pro upínání využívat více druhů upnutí, od mechanického upínání až po pneumatické či hydraulické upínání do přípravku.



Obr. 3.15 Speciální upínací přípravky

3.5.2 Upínání nástrojů

Upínání by mělo být jednoznačné a spolehlivé s minimálním vyložením. Mělo by být lehce výškově přestavitelné. U revolverových a speciálních soustruhů se nože upínají do speciálních držáků umístěných v zásobníku. Seřizování se provádí mimo pracovní prostor a automaticky se pak přesouvají do obráběcího procesu. [9]

Mezi zproduktivnění výroby součástí se zařadí sdružené nástrojové držáky. Tyto držáky nám výrobu mnohonásobně urychlí a také zlevní. Použití těchto držáků se využívá v hromadné výrobě složitých součástí, kde snižují vedlejší časy. Na obr. 3.16 lze vidět sdružený nástrojový držák, který slouží pro vrtání a odjehlování již vyvrtaných děr.



Obr. 3.16 Sdružený držák nástrojů

Při soustružení složitých tvarů se také využívá těchto nástrojů. U rotačních dílů s vnitřními a vnějšími zápichy lze použít těchto držáků (obr.3.17). Při použití těchto nástrojů se snižují vedlejší časy. Zapichovací nože jsou v držáku umístěny tak, že stačí pouze malé přejezdy při obrábění vnějšího a vnitřního zápichu. Zároveň jeden nůž slouží jako hladící a ještě obrábí na čisto vnitřní díru.



a)



b)

Obr. 3.17 Sdružený držák pro soustružnické nože –a), detail uložení – b)

3.6 Obráběcí stroje

Velký význam v obrábění má správná volba obráběcího stroje. Obráběcí stroj představuje základní prvek obráběcího systému (stroj-obrobek-nástroj), ve kterém se realizuje vlastní obráběcí proces. Při velkosériové výrobě volíme soustružnické automaty vybavené automatickým podavačem tyčí pro zajištění rychlého nabíjení tyče (obr 3.19). Většina těchto strojů je konstruována pro tyčovou, ale i přírubovou práci. Tyto stroje disponují velkým množstvím nástrojů a obrobek tak může být zhotoven na jedno upnutí. Mezi nejmodernější obráběcí centra se řadí více vřetenová obráběcí centra, která snižují celkové časy při výrobě dílců. Stroje jsou také vybaveny automatickým odbíráním hotových dílců, které dopraví hotový dílec na dopravník. Zbytky tyčí jsou odstraňovány odděleně.



Obr. 3.19 Soustružnický dlouhotočný automat s podavačem tyčí

4. Návrh technologie obrábění vybrané součásti

Mnou vybraný dílec HOLDER se vyrábí ze slitiny hliníku s rozměry ϕ 17 mm a délkou 16,5 mm. Tato slitina hliníku se skládá z následujícího chemického složení.

Si	Fe	Cu	Mn	Cr	Zn	Ti	Al
0,7-1,1	0,5	0,1	0,1-0,45	0,1	0,2	0,1	Zbytek

4.1 Původní technologie obrábění

Původní technologie obrábění daných dílů se prováděla na strojích vyrobených v roce 1999. Tyto stroje za celou dobu provozu procházely různými opravami a v dnešní době již produktivitou nestačí konkurovat novým moderním strojům.

4.1.1 Obráběcí centrum Index ABC

Všechny operace které souvisí s výrobou dílu HOLDER se prováděly na soustružnickém automatu firmy Index označení ABC.



Obr. 4.1 Soustružnický automat firmy Index ABC

Toto CNC obráběcí centrum umožňuje vyrábět jednoduché, ale i složité dílce jako je např. díl HOLDER. Centrum je konstruované pro tyčovou i přírubovou práci. Na tomto automatu se vyrábí dílce vysoké kvality, díky širokému spektru aplikací. Použít můžeme až 19 nástrojů, z toho až 3 nástroje mohou být najednou v řezu a to nám umožňuje zhotovit výrobek na jedno upnutí. Přínosem stroje je automatický podavač tyčí Index LM.

TECHNICKÉ PARAMETRY :**Hlavní vřeteno:**

Průměr tyče	42 mm
Rychlost	7000 ot/min
Výkon	13 kW

Nožové hlavy:

Hlava č.1	osa X	osa Z
Počet stanic	7 + synchronní vřeteno	
Čas otočení 1 stanice	0,3 s	
Rychloposuv	27 m/min	36 m/min
Rychlost	6000 ot/min	
Výkon	4,2 kW	
Hlava č. 2	osa X	osa Z
Počet stanic	6	
Čas otočení 1 stanice	0,3 s	
Rychloposuv	27 m/min	36 m/min
Rychlost	4500 ot/min	
Výkon	6,5 kW	

Použité nástroje

Soustružnické nože jsou použity s vyměnitelnou břitovou destičkou ze SK. Nože pro vnitřní a čelní zápch jsou upravené monolitní nástroje ze SK. Frézy jsou použity monolitní a vrtáky jsou ve většině případech použity sdružené nebo odstupňované pro urychlení operace.



Obr. 4.2 Odstupňovaný vrták

4.2 Nynější technologie obrábění

Nynější technologie obrábění daných dílů se provádí na moderním obráběcím centru, které od svého zakoupení nemuselo projít žádnou větší opravou.

4.2.1 Obráběcí centrum MultiDECO 20/6

Všechny operace, které jsou prováděny na dílu HOLDER jako je soustružení, frézování i vrtání je realizováno na šestivřetenovém obráběcím centru od švýcarské firmy Tornos Bechler s označením stroje MultiDECO 20/6.



Obr. 4.3 Obráběcí centrum MultiDECO 20/6

Obráběcí centrum MultiDECO 20/6 je vysoce produktivní obráběcí centrum, které umožňuje obrábět jednoduché i složité dílce stejně jako CNC firmy Index ABC. Centrum je také konstruováno pro tyčovou a přírubovou práci. Označení stroje 20/6 nám určuje dva hlavní parametry a to max. průchod vřetenem a počet vřeten. Stroj disponuje moderním podavačem tyčí, který zajišťuje rychlé nabíjení tyče. Tento stroj je doplněn o univerzální dopravník třísek a různé frézovací jednotky. Velký přínos u tohoto stroje je počet vřeten.

TECHNICKÉ PARAMETRY:

Max. průchod vřetenem	20 mm
Max. délka součásti	100 mm
Max. otáčky vřetena	6000 ot/min
Max. výkon vřetena	11 kW
Max. točivý moment vřetena	70 Nm
Max. výkon pro vrtání a řezání závitů	2,2 kW
Počet numerických os	18
Max. výkon motoru protivřetene	1,1 kW
Řídicí systém	FANUC 16iTB

Použité nástroje

Nástroje jsou použity stejné jak u předchozího stroje, pouze s menšími změnami. Na soustružení tvarové plochy je zde použita VBD s vybroušením požadovaného tvaru (obr.4.4). U operace čelního a vnitřního zapichování se zde použije sdružený nástrojový držák pro zrychlení operace. Vrtáky a frézy jsou použity stejné jak u stroje ABC.



Obr. 4.4 Sdružený nástrojový držák



Obr. 4.5 Tvarová VBD

5. Diskuze experimentů

Všechny pokusy zde popsány se prováděli za plného provozu během několika směn. Jako zkoušený dílec byl zvolen již zmiňovaný HOLDER, jehož roční produkce je kolem 1,5 mil kusů. Zkoušené testy jsme prováděli tak, aby se výroba zproduktivnila a také zlevnila. Kritérium které bylo zadáno firmou bylo, abychom vystačili s vybavením kterým firma disponuje. Menší změny v nástrojovém vybavení byli povoleny.

5.1 Test a výsledky strojů

Obráběný díl HOLDER se vyrábí na již zmiňovaném stroji firmy INDEX ABC. Na tomto stroji se za jednu směnu vyrobí přibližně 500 ks obrobených dílů. Tuto technologii firma využívá již řadu let. Zhotovení jednoho výrobku na tomto stroji trvá 45 s. Zákazník po firmě požaduje roční produkci tohoto dílu řádově 1,5 mil kusů. Tento stroj není díky své koncepci schopen tuto produkci zvládnout a proto firma využívá ke zhotovení požadovaného počtu čtyři stejné stroje Index ABC. Při použití více strojů Index ABC nám narůstají i náklady, které jsou popsány v technicko ekonomickém zhodnocení.

Pro zproduktivnění výroby a snížení nákladů jsme výrobu z jednoho stroje Index ABC převedli na obráběcí centrum firmy Tornos Bechler- MultiDeco 20/6 na kterém se vyráběl dílec s řádově nižší roční produkcí než je díl HOLDER. Na tomto stroji se za jednu směnu vyrobilo 2100 dílců. Změřením jsme zjistili, že stroj vyrobí každých 9 s jeden hotový dílec HOLDER. Nástrojové vybavení bylo použito totožné jako u stroje ABC, pouze odstupňovaný průměr nebyl vyráběn pomocí zapichovacího nože, ale byla použita VBD ze SK s vybroušeným tvarem dle obrobku. Tuto operaci provedla firma Schwanog, která s firmou spolupracuje. Dále zde byl použit sdružený nástrojový držák pro vnitřní a čelní soustružení. Pokud bychom posuzovali výrobu pouze z hlediska porovnání těchto strojů, zvýšení produktivity na tomto stroji oproti předchozímu bylo o 320 %.

5.2 Test a výsledky nástrojů

Všechny pokusy řezných nástrojů, které jsme vyzkoušeli se provedli na obráběcím centru Index ABC. Jako zkoušený dílec byl zvolen HOLDER. Test nástrojů byl proveden v rámci úspory nákladů na zhotovení daného dílu.



Obrábění odstupovaného průměru na čisto

Řezné nástroje byli zkoušeny při řezných podmínkách zadaných výrobcem jako optimální řezné podmínky a poupraveny technologem firmy. Test jsme provedli na třech destičkách, což je 6 řezných hran u nástroje Pramet. U nástroje ISCAR jsme provedli test také na 6 destičkách. Řezné podmínky stanovené pro nástroj Pramet LCMF 031602-F jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Pramet - LCMF 031602-F	
Řez. rychlost (v_c [m/min])	120
Posuv na ot. (s[mm])	0,05
Hloubka řezu (a_p [mm])	3
Přerušovaný řez	Ne

Tab č.3 Řezné parametry pro nástroj Pramet LCMF 031602-F

Trvanlivost řezných hran je uvedena v tabulce č.4

Pramet LCMF 031602-F	
Řezná hrana	Trvanlivost
1	27054
2	27028
3	27009
4	27013
5	27005
6	27012
Průměrná trvanlivost (ks)	27020

Tab. č. 4 Trvanlivost jednotlivých řezných hran

V prvním případě byl použit nástroj firmy Pramet LCMF 031602-F. Tento nástroj byl schopen průměrně obrobit za celou dobu použití 27020 ks dílů HOLDER. Následné opotřebení bylo takové, že se již nástroj musel vyměnit, abychom dodrželi požadované rozměry. Po odzkoušení byl tento nástroj vyměněn za nástroj firmy ISCAR XNUW 1305-05 IC 20. Řezné podmínky pro tento nástroj jsou uvedeny v tabulce č. 5.

ISCAR XNUW 1305-05 IC20	
Řez. rychlost (v_c [m/min]):	140
Posuv na ot (s [mm]):	0,05
Hloubka řezu (a_p [mm]):	3
Přerušovaný řez	Ne

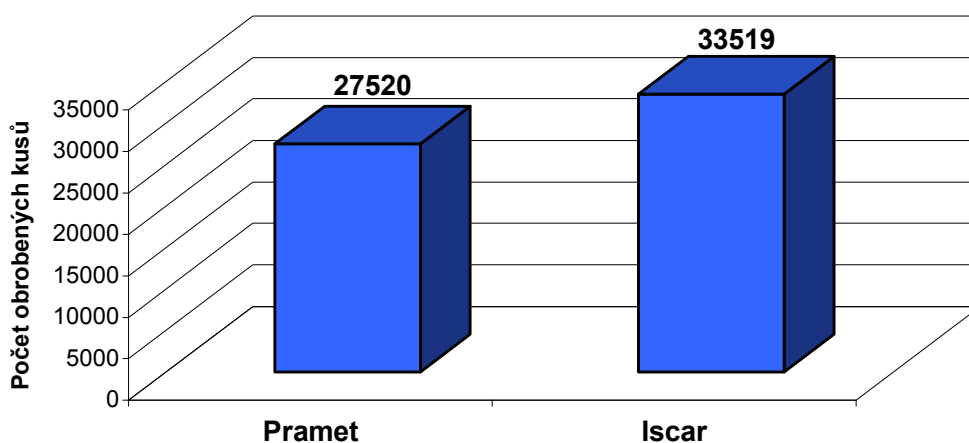
Tab. č.5 řezné podmínky pro nástroj ISCAR XNUW 1305-05 IC20

Trvanlivost řezných hran je uvedena v tabulce č.6

ISCAR XNUW 1305-05 IC 20	
Řezná hrana	Trvanlivost
1	33550
2	33520
3	33519
4	33503
5	33515
6	33508
Průměrná trvanlivost (ks)	33519

Tab. č. 6 Trvanlivost jednotlivých řezných hran

Po odzkoušení nástroje ISCAR XNUW 1305-05 IC 20 při zvolených řezných podmínkách bylo obrobena přibližně 33519 dílů HOLDER. Což bylo o 5999 více než nástroj Pramet LCMF 031602-F. Dále se již nástroj nedoporučoval použít vzhledem k opotřebení a požadavku na přesnost výroby. Nástroj byl schopen docílit dobrých výsledků i po obrobení většího počtu kusů než nástroj Pramet LCMF 031602-F. Porovnání výsledků lze vidět v následujícím grafu.



Graf č. 2 Srovnání počtu obrobeneých kusů

Speciální nástroj firmy Iscar obrobil o 21,8 % více kusů než nástroj od firmy Pramet.

6. Technicko ekonomické zhodnocení

6.1 Výpočet hospodárnosti pro zkoušené stroje

Náklady na stroj: (A)

Stroj Index ABC

Legenda použitá pro výpočet:

A1 - Pořizovací cena stroje	7 000 000 Kč
B1 – Hodinová sazba stroje	300 Kč
C1 – Počet kusů vyrobených za 1 směnu	500 ks
D1 – Pracovní doba za jednu směnu	7,5 hod
E1 – Náklady na výrobu jednoho obrobku	[Kč]

$$E1 = B1 : (C1 : D1)$$

$$E1 = 300 : (500 : 7,5)$$

$$E1 = 4,5 \text{ Kč}$$

Stroj Tornos Bechler – Multideco 20/6

Legenda použitá pro výpočet:

A2 - Pořizovací cena stroje	18 500 000 Kč
B2 - Hodinová sazba stroje	800 Kč
C2 - Počet kusů vyrobených za 1 směnu	2100 ks
D2 - Pracovní doba za jednu směnu	7,5 hod
E2 - Náklady na výrobu jednoho obrobku	[Kč]

$$E2 = B2 : (C2 : D2)$$

$$E2 = 800 : (2100 : 7,5)$$

$$E2 = 2,9 \text{ Kč}$$

Zhodnocením lze říci, že výroba na stroji ABC s roční produkcí 1,5 mil kusů bude stát 6 831 000. Budou se muset použít čtyři stejné stroje aby tuto produkci docílily. Obráběcí centrum Multideco 20/6 nám tuto roční produkci zvládne s náklady 4 622 310 Kč. Pouze převedením výroby na obráběcí stroj Multideco můžeme ušetřit 2 208 690 Kč.

6.2 Výpočet hospodárnosti pro zkoušené nástroje

Náklady na nástroje: (A)

Nástroj Pramet – LCMF 031602-F

Legenda použitá při výpočtu:

A1 – Roční náklady na nástroje	[Kč]
B1 – Roční produkce obrobených kusů	1 593 900 ks
C1 – Náklady na nástroje / obrobek	[Kč]
D1 – Počet obrobených kusů	27520 ks
E1 – Náklady na řeznou hranu	[Kč]
F1 – Počet řezných hran na destičce	2
G1 – Cena za VBD za kus	146 Kč

Pramet – LCMF 031602-F					
Náklady na řeznou hranu – E	G	:	F	=	E
	146	:	2	=	73,5
Náklady na nástroj / obrobek - C	E	:	D	=	C
	73,5	:	27520	=	0,00265
Roční náklady na nástroje – A	B	*	C	=	A
	1593900	*	0,00265	=	4228

Tab. č7 Roční náklady na nástroj Pramet

Nástroj ISCAR XNUW 1305-05 IC 20

Legenda použitá při výpočtu:

A2 – Roční náklady na nástroje	[Kč]
B2 – Roční produkce obrobených kusů	1 593 900 ks
C2 – Náklady na nástroje / obrobek	[Kč]
D2 – Počet obrobených kusů	35519 ks
E2 – Náklady na řeznou hranu	[Kč]
F2 – Počet řezných hran na destičce	1
G2 – Cena za VBD	1329 Kč

ISCAR XNUW 1305-05 IC 20					
Náklady na řeznou hranu – E	G	:	F	=	E
	1329	:	1	=	1329
Náklady na nástroj / obrobek - C	E	:	D	=	C
	1329	:	35519	=	0,0396
Roční náklady na nástroje – A	B	*	C	=	A
	1593900	*	0,0396	=	63196,8

Tab. č.8 Roční náklady na nástroje Iscar

Roční úspora nákladů na nástroje:

$$A2 - A1 = A$$

$$63196,8 - 4228 = 58968,8 \text{ Kč}$$

Strojní náklady: (H)**Pramet – LCMF 031602-F**

Legenda použitá při výpočtu:

H1 – Strojní náklady za rok	[Kč]
B1 – Roční produkce obrobených kusů	1 593 900
I1 – Náklady na obrábění	[Kč]
J1 – Hlavní strojní čas (th)	0,05 min = 3 s
K1- Hodinová sazba stroje	300 Kč

Pramet – LCMF 031602-F							
Náklady na obrábění - I	J	*	K	:	60	=	I
	0,05	*	300	:	60	=	0,25
Strojní náklady za rok - H	B	*	I			=	H
	1 593 900	*	0,25			=	398 475

Tab. 9 roční strojní náklady pro nástroj Pramet

Nástroj ISCAR XNUW 1305-05 IC 20

Legenda použitá při výpočtu:

H2 – Strojní náklady za rok	[Kč]
B2 – Roční produkce obrobených kusů	1 593 900
I2 – Náklady na obrábění	[Kč]
J2 – Hlavní strojní čas	0,025 min = 1,5 s
K2- Hodinová sazba stroje	300 Kč

Nástroj ISCAR XNUW 1305-05 IC 20							
Náklady na obrábění - I	J	*	K	:	60	=	I
	0,025	*	300	:	60	=	0,125
Strojní náklady za rok - H	B	*	I			=	H
	1 593 900	*	0,125			=	199 237,5

Tab. 10 Roční strojní náklady pro nástroj Iscar

Roční úspora nákladů:

$$H1 - H2 = H$$

$$398\,475 - 199\,237,5 = 199\,237,5 \text{ Kč}$$

Náklady na výměnu nástrojů: (M)**Pramet – LCMF 031602-F**

Legenda použitá pro výpočet:

M1 – Roční náklady na výměnu nástroje	[Kč]
N1 – Počet výměn nástrojů za rok	[-]
O1 – Náklady na výměnu nástroje	[Kč]
B1 – Roční produkce obrobených kusů	1 593 900 ks
D1 – Počet obrobených kusů jednou hranou	27520 ks
E1 – Čas výměny VBD	5 min
K1 – Hodinová sazba stroje	300 Kč

Pramet – LCMF 031602-F							
Náklady na výměnu nástroje-O	E	*	K	:	60	=	O
	5	*	300	:	60	=	25
Počet výměn nástroje za rok - N	B	:	D			=	N
	1 593 900	:	27520			=	57,91
Roční náklady na výměnu - M	O	*	N			=	M
	25	*	57,91			=	1448

Tab. č 11 roční náklady na výměnu nástroje Pramet

Nástroj ISCAR XNUW 1305-05 IC 20

Legenda použitá pro výpočet:

M1 – Roční náklady na výměnu nástroje	[Kč]
N1 – Počet výměn nástrojů za rok	[-]
O1 – Náklady na výměnu nástroje	[Kč]
B1 – Roční produkce obrobených kusů	1 593 900 ks
D1 – Počet obrobených kusů jednou hranou	33519 ks
E1 – Čas výměny VBD	5 min
K1 – Hodinová sazba stroje	300 Kč

Nástroj ISCAR XNUW 1305-05 IC 20							
Náklady na výměnu nástroje-O	E	*	K	:	60	=	O
	5	*	300	:	60	=	25
Počet výměn nástroje za rok - N	B	:	D			=	N
	1 593 900	:	33519			=	47,55
Roční náklady na výměnu - M	O	*	N			=	M
	25	*	47,55			=	1141,3

Tab. č. 12 Roční náklady na výměnu nástroje Iscar

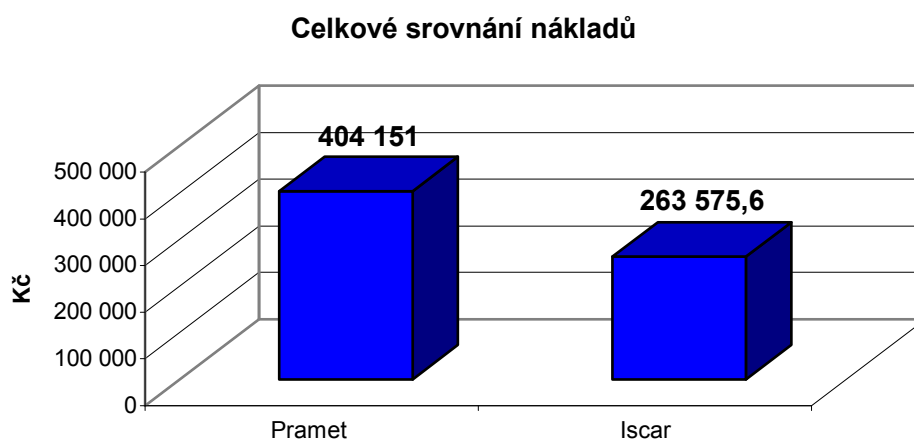
Roční úspora nákladů na výměnu nástroje:

$$M_1 - M_2 = M$$

$$1448 - 1141,3 = 306,7 \text{ Kč}$$

Celkové srovnání nákladů

Celkové srovnání nákladů [Kč]			
	Pramet	Iscar	Úspory
Náklady na nástroje - A	4228	63196,8	58 968,8
Strojní náklady - H	398 475	199 237,5	199 237,5
Náklady na výměnu nástrojů - M	1448	1141,3	306,7
Σ	404 151	263 575,6	140 575,4



Graf č. 4 Celkové srovnání nákladů

Při použití speciálního nástroje Iscar jsme snížili náklady na výrobu daného cyklu o 34,7 % oproti původnímu nástroji od firmy Pramet.

Závěr:

Cílem mé bakalářské práce bylo zproduktivnění výroby dané součásti v podniku Klein & Blažek spol s r.o. a snížit výrobní náklady. Jako počáteční krok pro zproduktivnění výroby jsem volil změnu obráběcího stroje. Při volbě nového obráběcího stroje se dosáhlo rychlejšího času na zhotovení výrobku a snížení nákladů na provoz stroje. Dalším zkoušeným parametrem byla změna nástroje. Změnou nástroje jsme dosáhli vyšší trvanlivosti o 21,8 % a snížili jsme celkové náklady na výrobu o 34,7 %. Pokud chceme maximálně zvýšit produktivitu a snížit náklady musíme uvažovat se všemi prvky soustavy.

Zavedením navrhnuté technologie by se snížily roční náklady na provoz stroje o 2 208 690 Kč. Po zhodnocení jednotlivých nákladů na nástroje, strojní náklady a výměnu VBD bychom ušetřili ročně 140 683,4 Kč.

Cíle mé práce byly splněny, zavedením nové technologie na výrobu dílu HOLDER by se ročně ušetřily nemalé finanční prostředky.

Poděkování

Děkuji Doc. Ing. Vladimíru Vrbovi, CSc. z katedry obrábění a montáže VŠB-TU Ostrava a Ing. J. Tempírovi z firmy Klein & Blažek spol s r.o. za vedení a podmínky k řešení bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Klein & Blažek spol s r.o. za možnost zpracování bakalářské práce.

Seznam použité literatury

- [1] Klein & Blažek spol. s r.o. Představení firmy [ONLINE]. c2007, [cit. 2010-04-28]. Dostupné z: <<http://www.kleibl.cz/index.php>>
- [2] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábání, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80–968954–2–7.
- [3] MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích nástrojů 1.část*, Ostrava, 2008. 142 s. ISBN 978-80-248-1053-9.
- [4] MOHYLA, Miroslav. *Strojírenské materiály I*. Ostrava, 2006.143 s. ISBN 80-248-0270-8.
- [5] EMUGE-FRANKEN servisní- centrum, s.r.o. [ONLINE]. [cit. 2010-04-15]. Dostupné z: <<http://www.emugefranken.cz/soubory/58cz.pdf>>
- [6] KUDELA, Miroslav. *Příručka obrábění-Kniha pro praktiky*. Praha, 1997. ISBN 91-97 22 99-4-6
- [7] KOČMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
- [8] HUMÁR. Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. MM Publishing Praha, 2008, 253 s. ISBN 978-80-254-2250-2
- [9] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; SADÍLEK, Marek; PETŘKOVÁ, Lenka; NOVÁKOVÁ, Jana. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007 Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [10] VASILKO, K., HAVRILA, M., NOVÁK, J., MÁDL, J., ZAJAC, J. *Top trendy v obrábání, III. část-Technológia obrábáňa*. Žilina: Media/ST. s.r.o Žilina, 2006. 214 s ISBN 80-968954-2-7.